

JP 2016-33450 A 2016.3.10

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-33450

(P2016-33450A)

(43) 公開日 平成28年3月10日(2016.3.10)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G O 1 T 1/20 (2006.01)</b>	G O 1 T 1/20 D	2 G 1 8 8
	G O 1 T 1/20 B	
	G O 1 T 1/20 G	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2014-155476 (P2014-155476)  
(22) 出願日 平成26年7月30日 (2014.7.30)

(出願人による申告) 独立行政法人科学技術振興機構、研究成果展開事業 (先端計測分析技術・機器開発プログラム)、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 301032942  
国立研究開発法人放射線医学総合研究所  
千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号  
(71) 出願人 000236436  
浜松ホトニクス株式会社  
静岡県浜松市東区市野町1126番地の1  
(74) 代理人 100088155  
弁理士 長谷川 芳樹  
(74) 代理人 100113435  
弁理士 黒木 義樹  
(74) 代理人 100140442  
弁理士 柴山 健一  
(74) 代理人 100170818  
弁理士 小松 秀輝

最終頁に続く

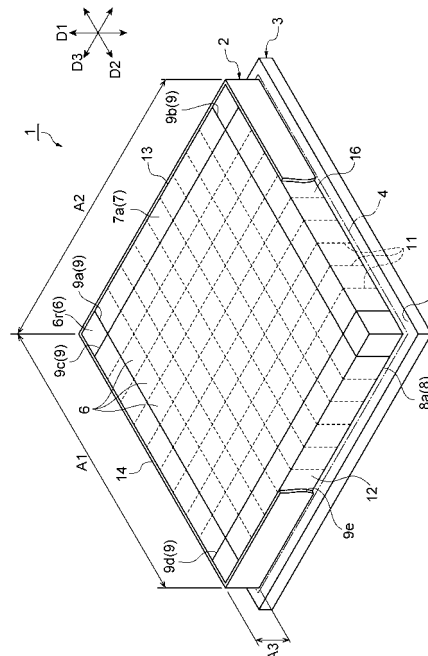
(54) 【発明の名称】 放射線検出器

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】シンチレーション光が発生したシンチレータセルを精度良く特定可能な放射線検出器を提供する。

【解決手段】放射線検出器1は、セル入射面7a及びセル結合面8aを有する複数のシンチレータセル6を有し、シンチレータセル6が二次元状に配置されたシンチレータアレイ2と、複数のセル結合面8aに対して光学的に結合された受光部を有する光検出器3と、を備えている。シンチレータアレイ2は、複数のシンチレータセル6を取り囲んで光拡散制限部を形成する光反射面9と、光拡散制限部に含まれたシンチレータセル6同士を光学的に分離する光散乱面11と、を有し、光散乱面11は、レーザ光の照射により形成された一又は複数の改質領域を含む。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

放射線の入射方向と交差するセル入射面及び前記セル入射面に対して平行なセル結合面を有するシンチレータセルを有し、前記シンチレータセルが二次元状に配置されたシンチレータアレイと、

複数の前記セル結合面に対して光学的に結合された受光部を有する光検出部と、  
を備え、

前記シンチレータアレイは、

前記セル入射面の法線方向に対して平行であり、複数の前記シンチレータセルを取り囲んで光拡散制限部を形成する光反射面と、

前記セル入射面の法線方向に対して平行であり、前記光拡散制限部に含まれた前記シンチレータセルを光学的に分離する光散乱面と、を有し、

前記光散乱面は、レーザ光の照射により形成された一又は複数の改質領域を含む、放射線検出器。

## 【請求項 2】

前記光拡散制限部は、前記シンチレータアレイの周縁部に設けられている、請求項 1 記載の放射線検出器。

## 【請求項 3】

前記シンチレータアレイは、複数の前記光拡散制限部を有し、

前記光検出部の前記受光部は、互いに隣接する前記光拡散制限部に跨るように前記シンチレータアレイに対して光学的に結合されている、請求項 1 又は 2 記載の放射線検出器。

## 【請求項 4】

前記光検出部の前記受光部は、2 行 2 列に二次元配列された前記光拡散制限部のそれぞれに跨るように前記シンチレータアレイに対して光学的に結合されている、請求項 3 記載の放射線検出器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、放射線を検出した位置を特定可能な放射線検出器に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

ポジトロン断層法 (PET : Positron Emission Tomography) には、放射線検出器が利用されている。この放射線検出器は、シンチレータと位置検出型光検出器とを備えている。シンチレータは、放射線を吸収してシンチレーション光を発生させるものである。また、位置検出型光検出器は、シンチレーション光が発生した位置や光強度を検出するものである。このような分野の技術として、特許文献 1 ~ 4 に記載された技術が知られている。

## 【0003】

特許文献 1 の放射線検出器は、複数の光散乱面が形成されたシンチレータと 2 個の光検出器とを備えている。少なくとも一方の光検出器は、一又は複数の光散乱面を通過して光強度が減衰したシンチレーション光を捉える。光強度の減衰量は、通過した光散乱面の数に対応しているので、光強度を利用してシンチレーション光が発生した領域を特定できる。特許文献 2 の 3 次元放射線位置検出器は、複数のシンチレータセルを有するシンチレータユニットと受光素子とを備えている。シンチレータセル間には、反射材及び透過材のいずれか一方のみが配置されている。特許文献 3 の放射線位置検出器は、多層シンチレータと受光素子とを備えている。この放射線位置検出器は、受光素子に入射される光強度を均一化する手段の一つとして、シンチレータセル間に設置された光反射材を有している。特許文献 4 の検知器コンポーネントは、シンチレータを備えている。このシンチレータには、複数のボイドが形成されている。このボイドは、シンチレーション光を制御する光学的境界を画定するためのものであり、シンチレータ内に設定された焦点にレーザビームを集束させることにより形成されている。

10

20

30

40

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】国際公開2012/105292号

【特許文献2】特許第4338177号

【特許文献3】特許第4332613号

【特許文献4】特許第5013864号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

10

ところで、上述したシンチレータと光検出器とを備えた放射線検出器では、光検出器から出力される二次元状の光強度分布を利用して、シンチレーション光が発生した位置を光強度分布の重心として算出し、シンチレーション光が発生したセルを特定する。従って、シンチレーション光が光検出器に到達するまでの間に、シンチレーション光をある程度の範囲に拡散させる必要がある。光を拡散させる構成には、例えば、シンチレータと光検出器との間にライトガイドを挟み込む構成がある。また、光散乱面を利用してシンチレータを光学的に分離された複数のセルに分割する構成もある。光散乱面は、ある程度の光を透過するため、ライトガイドを用いることなしに光を拡散させることができる。

【0006】

しかし、シンチレータが厚くなると、シンチレーション光が発生した位置から光検出器に到達するまでの距離が長くなるので、シンチレーション光が拡散しすぎる虞がある。この場合には、光強度分布を精度良く得ることが困難になる場合があり、シンチレーション光が発生したシンチレータセルを精度良く特定できない虞があった。

20

【0007】

そこで、本発明は、シンチレーション光が発生したシンチレータセルを精度良く特定可能な放射線検出器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一側面に係る放射線検出器は、放射線の入射方向と交差するセル入射面及びセル入射面に対して平行なセル結合面を有するシンチレータセルを有し、シンチレータセルが二次元状に配置されたシンチレータアレイと、複数のセル結合面に対して光学的に結合された受光部を有する光検出部と、を備えている。シンチレータアレイは、セル入射面の法線方向に対して平行であり、複数のシンチレータセルを取り囲んで光拡散制限部を形成する光反射面と、セル入射面の法線方向に対して平行であり、光拡散制限部に含まれたシンチレータセルを光学的に分離する光散乱面と、を有し、光散乱面は、レーザ光の照射により形成された一又は複数の改質領域を含む。

30

【0009】

この放射線検出器では、シンチレータアレイにおいて放射線が吸収されて、線量に応じた光強度を有するシンチレーション光が発生する。シンチレーション光は、その発生位置から光検出部に向かって拡散しつつ伝播する。拡散したシンチレーション光は、受光部に入射する。そして、シンチレーション光が入射した受光部から出力される信号を利用して、重心演算を行い、シンチレーション光が発生した位置を算出する。すなわち、シンチレーション光が発生した位置の算出には、シンチレーション光の拡散範囲が影響する。ここで、シンチレータアレイは光反射面を有し、この光反射面は複数のシンチレータセルを取り囲んで光拡散制限部を形成している。この光拡散制限部に含まれたシンチレータセルにおいてシンチレーション光が発生した場合には、光反射面によりシンチレーション光が光拡散制限部の外側へ拡散することが制限される。光拡散制限部内には、レーザ光の照射により形成された改質領域を含む光散乱面が形成されている。そして、光拡散制限部内では、シンチレーション光は、光散乱面を通過しつつ拡散する。このシンチレーション光は、発光位置を精度良く算出可能な光強度分布として検出されることが出来る。従って、シン

40

50

チレーション光が発生したシンチレータセルを精度良く特定することができる。

【 0 0 1 0 】

光拡散制限部は、シンチレータアレイの周縁部に設けられていてもよい。ここで、シンチレータアレイの周縁部に配置されたシンチレータセルにおいてシンチレーション光が発生した場合、シンチレーション光の拡散範囲がシンチレータアレイの内側に偏った分布となるため、光検出部で取得される光強度分布の重心は、シンチレータアレイの中央寄りに片寄ることになる。従って、内側のシンチレータセルに対応した光検出位置に近接し、重なってしまう虞がある。この構成によれば、光反射面によりシンチレーション光が光拡散制限部の内側へ拡散することが制限される。従って、シンチレータアレイの周縁部に配置されたシンチレータセルと内側のシンチレータセルの重なりを避け、分離特性の劣化をより抑制することができる。

10

【 0 0 1 1 】

また、シンチレータアレイは、複数の光拡散制限部を有している。光検出部の受光部は、互いに隣接する光拡散部に跨るようにシンチレータアレイに対して光学的に結合されていてもよい。ここで、受光部上に配置されたシンチレータセルの分離特性は、受光部間の上に配置されたシンチレータセルの分離特性よりも低下する傾向にある。このような構成によれば、互いに隣接する光拡散制限部の何れかにおいてシンチレーション光が発生した場合には、他方の光拡散制限部へシンチレーション光が拡散することが抑制される。従って、受光部上に配置されたシンチレータセルにおいてシンチレーション光が発生した場合であっても、シンチレータセルの分離特性の低下を抑制することが可能になる。従って、シンチレーション光が発生したシンチレータセルを精度良く特定することができる。

20

【 0 0 1 2 】

また、光検出部の受光部は、2行2列に二次元配列された光拡散制限部のそれぞれに跨るようにシンチレータアレイに対して光学的に結合されていてもよい。このような構成によれば、受光部上に配置されたシンチレータセルにおいてシンチレーション光が発生した場合であっても、シンチレータセルの分離特性の低下を抑制することが可能になる。すなわち、受光部上に配置されたシンチレータセルの分離特性をより高めることができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 3 】

本発明の放射線検出器によれば、シンチレーション光が発生したシンチレータセルを精度よく特定することができる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 4 】

【 図 1 】 本発明の第1実施形態に係る放射線検出器の斜視図である。

【 図 2 】 図1に示された放射線検出器の平面図である。

【 図 3 】 図1に示されたシンチレータアレイの分解斜視図である。

【 図 4 】 図1に示された放射線検出器により得られる検出点の分布を模式的に示す図である。

【 図 5 】 本発明の第2実施形態に係る放射線検出器の平面図である。

【 図 6 】 図5に示された放射線検出器により得られる検出点の分布を模式的に示す図である。

40

【 図 7 】 変形例に係る放射線検出器の平面図である。

【 図 8 】 図7に示された放射線検出器により得られる検出点の分布を模式的に示す図である。

【 図 9 】 (a) は比較例1に係る放射線検出器の平面図であり、(b) は(a)に示された放射線検出器により得られる検出点の分布を模式的に示す図である。

【 図 10 】 (a) は比較例2に係る放射線検出器の平面図であり、(b) は(a)に示された放射線検出器により得られる検出点の分布を模式的に示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 5 】

50

## [ 第 1 実施形態 ]

以下、添付図面を参照しながら本発明を実施するための形態を詳細に説明する。図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。図 1 に示されるように、放射線検出器 1 は、ガンマ線などの放射線の入射により発生した光を検出することにより、放射線を検出するものである。

## 【 0 0 1 6 】

放射線検出器 1 は、シンチレータアレイ 2 と、光検出器（光検出部）3 とを備えている。シンチレータアレイ 2 は、放射線を吸収してシンチレーション光と呼ばれる光を発生させるものである。シンチレーション光は、発生した位置から光検出器 3 に向かって進行しつつ二次元状に拡散する。そして、シンチレーション光は、光検出器 3 において光強度の分布として検出される。この二次元的な光強度分布の重心を求める演算を行うことにより、シンチレーション光が発生した二次元的な位置情報が得られる。

10

## 【 0 0 1 7 】

光検出器 3 の受光部 4 には、シンチレータアレイ 2 が光学的に結合されている。このシンチレータアレイ 2 は、二次元状に配置された 1 2 1 個のシンチレータセル 6 を含んでいる。シンチレータアレイ 2 は、放射線が入射されるブロック入射面 7 と、ブロック入射面 7 の反対側のブロック結合面 8 とを有している。シンチレータアレイ 2 と光検出器 3 との間には、シンチレーション光に対して透明な光学部材が充填されている。このような光学部材には、例えば、シリコンオイル、空気、光学用透明接着剤等がある。

20

## 【 0 0 1 8 】

シンチレータアレイ 2 は、放射線の入射によってシンチレーション光を発生する結晶塊により構成されている。このシンチレーション光は、吸収した放射線の線量に対応する光強度を有している。結晶塊は、略直方体状の外形状を有している。例えば、シンチレータアレイ 2 は、一辺 A 1 が 5 0 mm であり、他辺 A 2 が 5 0 mm であり、高さ A 3 が 2 0 mm 程度である。結晶塊は、例えば、 $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  (BGO)、Ce がドープされた  $\text{Lu}_2\text{SiO}_5$  (LSO)、 $\text{Lu}_{2(1-x)}\text{Y}_{2x}\text{SiO}_5$  (LYSO)、 $\text{Gd}_2\text{SiO}_5$  (GSO)、Pr がドープされた  $\text{LuAlG}$  ( $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ )、Ce がドープされた  $\text{LaBr}_3$  ( $\text{LaBr}_3$ )、Ce がドープされた  $\text{LaCl}_3$  ( $\text{LaCl}_3$ )、Ce がドープされた  $\text{Lu}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{AlO}_3$  (LuYAP)、Lutetium Fine Silicate (LFS) などの何れかの結晶によって好適に構成される。

30

## 【 0 0 1 9 】

シンチレータアレイ 2 には、光反射面 9 と光散乱面 1 1 とが形成されている。これら光反射面 9 と光散乱面 1 1 とは、結晶塊を複数のシンチレータセル 6 に光学的に分離する。なお、光反射面 9 と光散乱面 1 1 との具体的な配置は後述する。また、光学的な分離とは、互いに隣接するシンチレータセル 6 へ光が入射される場合において、光散乱面 1 1 で光が散乱されて光強度が弱まった光が伝播される場合、光反射面 9 で略 1 0 0 % 反射される場合、又は光反射面 9 で所定割合の光が反射され、残りの光が透過される場合を含む。

## 【 0 0 2 0 】

光反射面 9 は、シンチレーション光の拡散を阻害するものであり、光透過率が光散乱面 1 1 よりも低い。すなわち、光反射面 9 は、光散乱面 1 1 よりも光の拡散を阻害するものである。従って、光透過率が光散乱面 1 1 よりも低ければよいので、光反射面 9 の反射率は略 1 0 0 % であってもよいし、1 0 0 % 以下であってもよい。このような光反射面 9 として、例えば、テフロンテープ（テフロンは登録商標）、硫酸バリウム、酸化アルミ、酸化チタン、ESR (Enhanced Specular Reflector) フィルム、及びポリエステルフィルムといった部材の何れかをを用いることができる。

40

## 【 0 0 2 1 】

光散乱面 1 1 は、改質領域（不図示）により構成されている。改質領域は、例えばボイド状の改質スポットが互いに重なり合うように形成された領域である。この複数の改質スポットが光学的な散乱面を形成している。改質スポットは、結晶塊の内部にレーザ光を集光させることにより、形成する。すなわち、光散乱面 1 1 は、シンチレータをなす結晶塊

50

の表面を機械的又は化学的に処理して得られるものではない。改質領域は、シンチレーション光を遮断したり吸収したりするものではない。従って、光散乱面 11 の全面に改質領域が形成されていても、シンチレーション光の一部は隣接するシンチレータセル 6 へ透過される。また、光散乱面 11 は、光散乱面 11 への光の入射角度により光透過率が異なる。例えば、入射角度が垂直である場合には、光透過率が大きくなる。すなわち、入射したシンチレーション光はほとんど透過する。一方、入射角度が大きくなると、垂直に入射した場合と比較して光透過率が下がる。

#### 【0022】

図 3 に示されるように、シンチレータアレイ 2 は、まず、板状の結晶塊にレーザ光を照射して光散乱面 11 を形成する。従って、光散乱面 11 の形成に当たっては、シンチレータをなす結晶塊を切断する工程は伴わない。次に、レーザ光により光散乱面 11 が形成された各結晶塊の間に光反射面 9 a ~ 9 d をなす光反射材を配置して再び光学的に接合する。最後に、側面に光反射面 9 e を形成する。以上の工程によって、シンチレータアレイ 2 が得られる。要するに、シンチレータアレイ 2 は、結晶塊に対するレーザ光の照射工程と、結晶塊同士の接合工程によって形成される。

#### 【0023】

光検出器 3 は、いわゆる位置検出型光検出器である。この光検出器 3 は、受光部 4 を有する。光検出器 3 は、受光部 4 に入射した光の入射位置、及び光強度に応じた電気信号を出力する。光検出器 3 は、例えば、位置検出型の光電子増倍管や半導体光検出器により好適に構成される。

#### 【0024】

次に、光反射面 9 及び光散乱面 11 の配置について詳細に説明する。以下の説明において、「行」及び「列」を用いることがある。図 1 に示されるように、「列」は他辺 A 2 に沿った方向（方向 D 3）である。また、「行」は一辺 A 1 に沿った方向（方向 D 2）である。そして、平面視して左最上段に配置されたシンチレータセル 6 r を、1 行 1 列に配置されたセルとして定義する。この定義は説明の便宜上のものである。

#### 【0025】

複数の光反射面 9 は、ブロック入射面 7 の法線方向（方向 D 1）に対して平行な面であり、ブロック入射面 7 に対して直交している。すなわち、光反射面 9 は、ブロック入射面 7 からブロック結合面 8 の間に亘って形成されている。従って、シンチレータ光は、光反射面 9 を通過することなく、光検出器 3 に到達することもあり得る。光反射面 9 a, 9 b は、シンチレータアレイ 2 の側面 12 から側面 13 の間に亘って形成されている。具体的には、光反射面 9 a は、1 列目のシンチレータセル 6 と 2 列目のシンチレータセル 6 の間に形成されている。光反射面 9 b は、10 列目のシンチレータセル 6 と 11 列目のシンチレータセル 6 の間に配置されている。光反射面 9 c, 9 d は、シンチレータアレイ 2 の側面 14 から側面 16 の間に形成されている。具体的には、光反射面 9 c は、1 行目のシンチレータセル 6 と 2 行目のシンチレータセル 6 の間に形成されている。光反射面 9 d は、10 行目のシンチレータセル 6 と 11 行目のシンチレータセル 6 の間に配置されている。更に、光反射面 9 e は、シンチレータアレイ 2 の側面 12, 13, 14, 16 のそれぞれに配置されている。

#### 【0026】

図 2 に示されるように、これら光反射面 9 a ~ 9 d は格子状に組み合わされて、一又は複数のシンチレータセル 6 を取り囲んでいる。これら光反射面 9 に取り囲まれた領域を、光拡散制限部 17 と呼ぶ。すなわち、光拡散制限部 17 は、光反射面 9 と一又は複数のシンチレータセル 6 とを有している。シンチレータアレイ 2 は、9 個の光拡散制限部 17 a ~ 17 c を有している。シンチレータアレイ 2 は、それぞれの角部に形成された 4 個の光拡散制限部 17 a を有している。これら光拡散制限部 17 a は、1 個のシンチレータセル 6 を含んでいる。また、シンチレータアレイ 2 は、それぞれの光拡散制限部 17 a の間に形成された 4 個の光拡散制限部 17 b を有している。これら光拡散制限部 17 b は、方向 D 2 又は方向 D 3 に沿って分離された 9 個のシンチレータセル 6 を含んでいる。更に、シ

10

20

30

40

50

ンチレータアレイ 2 は、光拡散制限部 17 a , 17 b に囲まれた 1 個の光拡散制限部 17 c を有している。この光拡散制限部 17 c は、方向 D 2 に沿って 9 分割され、方向 D 3 に沿って 9 分割された 81 個のシンチレータセル 6 を含んでいる。

【0027】

光拡散制限部 17 b , 17 c 内には、複数の光散乱面 11 が形成されている。光散乱面 11 は、ブロック入射面 7 の法線方向（方向 D 1）に対して平行である。すなわち、光散乱面 11 は、ブロック入射面 7 に対して交差、より具体的には直交している。従って、シンチレータ光は、光散乱面 11 を通過することなく、光検出器 3 に到達することもあり得る。例えば、光拡散制限部 17 b では、行方向（方向 D 3）又は列方向（方向 D 2）と直交する光散乱面 11 が、等間隔をもって 9 個形成されている。すなわち、光拡散制限部 17 b では、シンチレータセル 6 が一次元状に配置されている。また、光拡散制限部 17 c では、行方向（方向 D 3）と直交する光散乱面 11 が等間隔をもって 8 個形成され、列方向（方向 D 2）と直交する光散乱面 11 が等間隔をもって 8 個形成されている。すなわち、光拡散制限部 17 c では、光反射面 9 が格子状に形成されることにより、64 個のシンチレータセル 6 がブロック入射面 7 に沿って二次元状に配置されている。

10

【0028】

シンチレータセル 6 は、セル入射面 7 a と、セル結合面 8 a とを有している（図 1 参照）。セル入射面 7 a は、放射線の入射方向（方向 D 1）と交差する面であり、ブロック入射面 7 に含まれている。セル結合面 8 a は、セル入射面 7 a に対して平行な面であり、ブロック結合面 8 に含まれている。また、セル結合面 8 a は、光検出器 3 に対して光学的に結合されている。

20

【0029】

シンチレータセル 6 は、光反射面 9 又は光散乱面 11 によって隣接する別のシンチレータセル 6 と光学的に分離されている。例えば、シンチレータセル 6 a , 6 r は、光反射面 9 によって隣接する別のシンチレータから光学的に分離されている。シンチレータセル 6 b は、互いに対向する一対の光反射面 9 と、光反射面 9 に直交すると共に互いに対向する一対の光散乱面 11 とによって光学的に分離されている。シンチレータセル 6 c は、互いに直交する光反射面 9 と互いに直交する光散乱面 11 とによって光学的に分離されている。シンチレータセル 6 d は、1 つの光反射面 9 と、3 つの光散乱面 11 とによって光学的に分離されている。シンチレータセル 6 e は、光散乱面 11 によって光学的に分離されている。

30

【0030】

以下、放射線検出器 1 の作用効果を比較例 1 に係る放射線検出器の作用効果と比較しつつ説明する。

【0031】

図 9 (a) に示されるように、比較例 1 に係る放射線検出器 100 は、結晶塊が光散乱面 101 のみで複数のシンチレータセル 106 に分離されている点で放射線検出器 1 と相違する。すなわち、放射線検出器 100 は、シンチレータアレイ内には光反射面 9 を有していない。また、シンチレータアレイ 102 の側面には光反射面 9 を設けている。

【0032】

40

図 9 (b) は、検出点 P 1 の分布を模式的に示す図である。検出点 P 1 は、放射線検出器 100 において、シンチレーション光が発生したシンチレータセル 106 に対応している。例えば、検出点 P 1 a は、シンチレータセル 106 a に対応している。すなわち、放射線検出器 100 を利用して得たデータに検出点 P 1 a が含まれている場合には、シンチレータセル 106 a に放射線が入射したことを示す。

【0033】

図 9 (b) に示されるように、検出点 P 1 の間隔はシンチレータアレイ 102 の周縁部に近づくに従って狭くなっている。例えば、シンチレータセル 106 a でシンチレーション光が発生した場合を想定する。シンチレーション光が二次元状に均等に拡散したとすると、シンチレータアレイ 102 の外側には光は拡散しないため内側に向かって拡散する。

50

このような光強度分布に基づいて重心演算を行うと、検出点 P 1 の位置は、正確な位置に対してシンチレータアレイ 2 の中央に片寄った位置として算出される。要するに、周縁部に近いほど光強度分布の対称性が崩れ中央に偏った分布となり、検出点 P 1 の位置がシンチレーション光の拡散範囲による。そして、シンチレーション光の拡散範囲を決定する要因は、光散乱面 1 0 1 の光透過率と、シンチレーション光が発生した位置から光検出器 3 までの距離である。

#### 【 0 0 3 4 】

基本的に、シンチレータセル 1 0 6 a に対応する検出点 P 1 a と、当該シンチレータセル 1 0 6 a に隣接する別のシンチレータセル 1 0 6 b に対応する検出点 P 1 b とは、完全に分離していることが望ましい。その一方、検出点 P 1 a , P 1 b は、画像処理によって弁別が可能な範囲であれば、ある程度の近接も許容される。しかし、例えば、検出点 P 1 a , P 1 b のように、互いに接触するまで近接したり更に重複したりする場合には、検出点 P 1 a , P 1 b が何れのシンチレータセル 1 0 6 に対応するかの判定が困難になる場合がある。

10

#### 【 0 0 3 5 】

本実施形態に係る放射線検出器 1 では、シンチレータアレイ 2 において放射線が吸収されて、線量に応じた光強度を有するシンチレーション光が発生する。シンチレーション光は、その発生位置から光検出器 3 に向かって拡散しつつ伝播する。シンチレーション光は、光検出器 3 に入射する。そして、光検出器 3 から出力される光強度分布を用いた重心演算により、シンチレーション光が発生した位置を算出する。すなわち、シンチレーション光が発生した位置の算出には、シンチレーション光の光強度分布が影響する。

20

#### 【 0 0 3 6 】

ここで、シンチレータアレイ 2 は光反射面 9 を有し、この光反射面 9 はシンチレータセル 6 を取り囲んで光拡散制限部 1 7 を形成している。この光拡散制限部 1 7 に含まれたシンチレータセル 6 においてシンチレーション光が発生した場合には、光反射面 9 によりシンチレーション光が光拡散制限部 1 7 の外側へ拡散することが制限される。すなわち、シンチレーション光は、当該シンチレーション光が発生したシンチレータセル 6 を含む光拡散制限部 1 7 内に留まるため、隣接する光拡散制限部 1 7 へのシンチレーション光の拡散が制限される。光拡散制限部 1 7 内において拡散したシンチレーション光によれば、光検出器 3 により、発光位置を精度良く算出可能な光強度分布として検出できる。従って、隣接する光拡散制限部 1 7 間の分離特性が改善されるので、シンチレーション光が発生したシンチレータセル 6 を精度良く特定することができる。

30

#### 【 0 0 3 7 】

すなわち、放射線検出器 1 のシンチレータアレイ 2 では、光反射面 9 と光散乱面 1 1 とを介した光学的な分離を組み合わせることにより、シンチレータセル 6 における分離特性を向上させている。

#### 【 0 0 3 8 】

また、光拡散制限部 1 7 に含まれたシンチレータセル 6 間では、所定量のシンチレーション光が透過される。従って、光拡散制限部 1 7 内のシンチレータセル 6 は、ライトガイドとしての機能を奏し得る。従って、放射線検出器 1 のシンチレータアレイ 2 には、光反射面 9 と光散乱面 1 1 とが混在して形成されているので、ライトガイドを不要とすることができる。

40

#### 【 0 0 3 9 】

また、シンチレータアレイ 2 の周縁部に形成された光拡散制限部 1 7 b によれば、光拡散制限部 1 7 b 内のシンチレータセル 6 b 等でシンチレーション光が発生した場合に、当該シンチレーション光が光拡散制限部 1 7 b の内側へ拡散することが制限される。具体的には、シンチレータアレイ 2 の内側へ拡散することが制限される。従って、シンチレータアレイ 2 の周縁部に配置されたシンチレータセル 6 b 等の分離特性の劣化をより抑制することができる。

50



## 【 0 0 4 0 】

また、シンチレータアレイ 2 に形成された光反射面 9 によれば、シンチレーション光の拡散範囲を制限できるので、シンチレーション光が発生した位置から光検出器 3 までの距離を長くすることが可能になる。従って、放射線検出器 1 に厚さの大きいシンチレータアレイ 2 を採用することができる。

## 【 0 0 4 1 】

図 4 を参照しつつ、放射線検出器 1 の作用効果について具体的に説明する。図 4 は、検出点 P 1 , P 2 の分布を模式的に示す図である。検出点 P 2 は、放射線検出器 1 においてシンチレーション光が発生したシンチレータセル 6 に対応している。検出点 P 1 は、比較例 1 に係る放射線検出器 1 0 0 においてシンチレーション光が発生したシンチレータセル 1 0 6 に対応している。また、破線 L 1 は、シンチレータセル 6 が光散乱面 1 1 によって光学的に分離されていることを示す。一点鎖線 L 2 は、シンチレータセル 6 が光反射面 9 によって光学的に分離されていることを示す。図 4 ( b ) に示されるように、シンチレータアレイ 2 の周縁部に配置されたシンチレータセル 6 に対応する検出点 P 2 a と、隣接するシンチレータセル 6 に対応する検出点 P 2 b との間隔が拡大している。

## 【 0 0 4 2 】

本実施形態のシンチレータアレイ 2 の周縁部に位置するシンチレータセル 6 r ( 図 2 参照 ) でシンチレーション光が発生した場合、シンチレーション光が発生したシンチレータセル 6 r は、光反射面 9 ( 一点鎖線 L 2 a ~ L 2 d ) に取り囲まれている。従って、シンチレーション光は、光反射面 9 ( 一点鎖線 L 2 a ) に直交する方向への拡散が制限される。同様に、シンチレーション光は、光反射面 9 ( 一点鎖線 L 2 d ) に直交する方向への拡散が制限される。これによって、シンチレータアレイ 2 の内側へのシンチレーション光の拡散が制限される。従って、例えば、検出点 P 2 a の位置は、正確な位置よりも内側へシフトすることが抑制される ( 図 4 ( b ) 参照 ) 。

## 【 0 0 4 3 】

また、放射線検出器 1 では、全てのシンチレータセル 6 が、光検出器 3 の受光部 4 と光学的に結合されている。すなわち、光検出器 3 の光入射面 3 a は、シンチレータ光の検出に寄与しない不感領域を含まない。このように、不感領域を含まない光検出器 3 であっても、シンチレータアレイ 2 によれば、シンチレータ光が発生した位置を好適に算出することができる。

## 【 0 0 4 4 】

## [ 第 2 実施形態 ]

第 2 実施形態に係る放射線検出器について説明する。図 5 に示されるように、放射線検出器 1 A は、シンチレータアレイ 2 A に形成された光反射面 9 の配置が第 1 実施形態のシンチレータアレイ 2 と相違する。すなわち、放射線検出器 1 A は、シンチレータアレイ 2 A に形成された光拡散制限部 1 8 の構成が第 1 実施形態の光拡散制限部 1 7 の構成と相違する。また、放射線検出器 1 A は、光検出器 3 A が、受光部 5 を有するアレイ構成を有する点で、第 1 実施形態の光検出器 3 と相違する。

## 【 0 0 4 5 】

放射線検出器 1 A のシンチレータアレイ 2 A には、4 個の光拡散制限部 1 8 a と、8 個の光拡散制限部 1 8 b と、4 個の光拡散制限部 1 8 c と、が形成されている。シンチレータアレイ 2 A は、それぞれの角部に形成された光拡散制限部 1 8 a を有している。これら光拡散制限部 1 8 a は、1 個のシンチレータセル 1 0 を含んでいる。また、シンチレータアレイ 2 A は、それぞれの光拡散制限部 1 8 a の間に形成された光拡散制限部 1 8 b を有している。これら光拡散制限部 1 8 b は、方向 D 2 又は方向 D 3 に沿って分離された 4 個のシンチレータセル 1 0 をそれぞれ含んでいる。更に、シンチレータアレイ 2 A は、光拡散制限部 1 8 a , 1 8 b に囲まれた 4 個の光拡散制限部 1 8 c を有している。光拡散制限部 1 8 c は、方向 D 2 に沿って 4 分割され、方向 D 3 に沿って 4 分割された 1 6 個のシンチレータセル 1 0 を含んでいる。

## 【 0 0 4 6 】

さらに、シンチレータアレイ 2 A は、光反射面 9 が十字状に組み合わされた光反射面交差部 20 を有している。光拡散制限部 18 a ~ 18 c のそれぞれは、光反射面交差部 20 を介して 2 行 2 列の二次元配列とされている。例えば、4 個の光拡散制限部 18 c は、光反射面交差部 20 a を介して 2 行 2 列の二次配置とされている。また、2 個の光拡散制限部 18 b と 2 個の光拡散制限部 18 c とは、光反射面交差部 20 b を介して 2 行 2 列の二次配置とされている。

【0047】

光検出器 3 A は、互いに離間した 9 個の受光部 5 を有している。このような光検出器 3 A は、例えば、アバランシェフォトダイオード (APD: AValanche Photo Diode)、あるいは MPPC (Multi Pixel Photon Counter) といった半導体光検出器により好適に構成される。なお、MPPC は、複数のガイガーモード APD のピクセルからなるフォトンカウンティングデバイスである。それぞれの受光部 5 上に光反射面交差部 19 が配置されるように、光検出器 3 A に対してシンチレータアレイ 2 A が光学的に結合されている。受光部 5 とシンチレータアレイ 2 A とが光結合された結合面積は、シンチレータアレイ 2 A のブロック結合面 8 よりも小さい。例えば、光検出器 3 A の受光部 5 a は、2 行 2 列の二次元配置とされた 4 個の光拡散制限部 18 a, 18 b, 18 c に跨るようにシンチレータアレイ 2 A に対して光学的に結合されている。

【0048】

以下、放射線検出器 1 A の作用効果を比較例 2 に係る放射線検出器の作用効果と比較しつつ説明する。

【0049】

図 10 (a) に示されるように、比較例 2 に係る放射線検出器 200 は、本実施形態のシンチレータアレイ 2 A と同じ分割数とされ、10 行 10 列に配置されたシンチレータセル 206 を有している。一方、シンチレータアレイ 202 が、光散乱面 211 のみで複数のシンチレータセル 206 に分離されている点で放射線検出器 1 A のシンチレータアレイ 2 A と相違する。すなわち、比較例 2 に係る放射線検出器 200 には、光反射面 9 が設けられておらず、光拡散制限部 18 も設けられていない。また、シンチレータアレイ 2 の側面には光反射面 9 は設けられている。また、比較例 2 の放射線検出器 200 には、光反射面 9 が設けられていないので、光反射面交差部 19 も設けられていない。従って、受光部 5 は、2 行 2 列の二次元状の配置とされた 4 個のシンチレータセル 206 に跨って配置されているが、それぞれのシンチレータセル 206 は光散乱面 211 によって光学的に分離されている。光検出器 203 は、本実施形態の光検出器 3 A と同様の構成を有している。そして、それぞれの受光部 5 と光学的に結合されたシンチレータセル 206 との関係も本実施形態の放射線検出器 1 A と同じである。

【0050】

図 10 (b) は、検出点 P3 の分布を模式的に示す図である。検出点 P3 a ~ P3 d は、比較例 2 に係る放射線検出器 200 において、シンチレーション光が発生したシンチレータセル 206 に対応している。図 10 (b) に示されるように、例えば、検出点 P3 a は、シンチレータセル 206 a に対応している。受光部 5 a 上のシンチレータセル 206 a ~ 206 d に対応する検出点 P3 a ~ P3 d の間隔は、狭くなっている。すなわち、受光部 5 a 上に配置されたシンチレータセル 206 a ~ 206 d の分離特性は、例えば、受光部 5 a と受光部 5 b の間の上に配置されたシンチレータセル 206 e 同士の分離特性よりも低下する傾向にある。

【0051】

一例として、シンチレータセル 206 a でシンチレーション光が発生すると、シンチレーション光のほとんどは受光部 5 a で検出される。シンチレータセル 206 a に隣接するシンチレータセル 206 b でシンチレーション光が発生した場合でも同様である。すなわち、受光部 5 a 上における 4 個のシンチレータセル 206 a ~ 206 d の何れにおいてシンチレーション光が発生しても、得られる光強度分布は近似したものになる虞がある。光強度分布が近似していると、光強度分布から得られる検出点 P3 a ~ P3 d の位置も互い

10

20

30

40

50

に近づく傾向にある。

【0052】

図6は、検出点P3, P4の分布を模式的に示す図である。検出点P4は、本実施形態の放射線検出器1Aにおいて、シンチレーション光が発生したシンチレータセル10に対応している。破線L3は、本実施形態のシンチレータセル10が光散乱面11によって光学的に分離されていることを示している。一点鎖線L4は、本実施形態のシンチレータセル10が光反射面9によって光学的に分離されていることを示している。

【0053】

図6(a)に示されるように、放射線検出器1Aによれば、受光部5a上のシンチレータセル10a~10dに対応する検出点P4a~P4dの間隔が拡大されている。例えば、シンチレータセル10aでシンチレーション光が発生した場合には、シンチレーション光は、光拡散制限部18c内において拡散し、隣接するシンチレータセル10b, 10c, 10dをそれぞれ含む光拡散制限部18cへの拡散が制限される。従って、本実施形態の放射線検出器1Aによれば、比較例2に係る光強度分布に比べて受光部5a上に配置されたシンチレータセル10a~10dの分離特性が向上する。

【0054】

また、光検出器3Aの光入射面3aは、シンチレータ光を検出する受光部5と、受光部5の間に形成された不感領域3bとを有している。すなわち、放射線検出器1Aは、受光部5に光学的に結合されたシンチレータセルと、不感領域3bに結合されたシンチレータセルと、を含む。放射線検出器1Aは、光散乱面11を有しているので、シンチレータ光が発生したシンチレータセルが不感領域3bと光学的に結合されていても、受光部5と結合されたシンチレータセルまでシンチレータ光が拡散する。従って、不感領域3bを有する光検出器3Aであっても、シンチレータ光が発生した位置を好適に算出することができる。

【0055】

以上、本発明の一形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変形が可能である。

【0056】

例えば、図7に示されるように、変形例に係る放射線検出器1Bは、第1実施形態の光検出器3と、第2実施形態のシンチレータアレイ2Aとを組み合わせたものであってもよい。図8は、検出点P1及び検出点P5の分布を模式的に示す図である。検出点P5は、変形例の放射線検出器1Bにおいて、シンチレーション光が発生したシンチレータセル6g, 6h等に対応している。検出点P1は、比較例1の放射線検出器100において、シンチレーション光が発生したシンチレータセル106に対応している。破線L5は、変形例のシンチレータセル6g等が光散乱面11によって光学的に分離されていることを示す。一点鎖線L6は、変形例のシンチレータセル6g, 6h等が光反射面9によって光学的に分離されていることを示す。

【0057】

図8に示されるように、シンチレータアレイ2の周縁部に配置されたシンチレータセル6gに対応する検出点P5aと、隣接するシンチレータセル6hに対応する検出点P5bとの間隔が拡大している。従って、変形例の放射線検出器1Bであっても、周縁部における検出点P5a, P5bの間隔を拡大することができる。従って、シンチレータアレイ2の周縁部に配置されたシンチレータセル6g, 6h等の分離特性の劣化をより抑制することができる。

【0058】

また、上述した放射線検出器1において、シンチレーション光の拡散範囲は、光拡散制限部17, 18を形成する光反射面9及び光散乱面11に基づいている。より具体的には、光反射面9及び光散乱面11の光透過率に基づいている。このため、光反射面9及び光散乱面11の光透過率をパラメータとして、シンチレーション光の拡散範囲を任意の範囲に設定してもよい。すなわち、光反射面9及び光散乱面11の光透過率をパラメータとし

て、シンチレータセル 6 に対応する検出点 P 2 の位置を所望の位置に設定することができる。

【 0 0 5 9 】

また、上述した放射線検出器 1 A において、光検出器 3 A の受光部 5 は必ずしもシンチレータアレイ 2 の周縁部に配置されることを要しない。シンチレータアレイ 2 に対する光検出器 3 A の光学的な結合構成は、シンチレータアレイ 2 が有する光拡散制限部 1 8 の配置や、受光部 5 a の数等により適宜設定し得る。

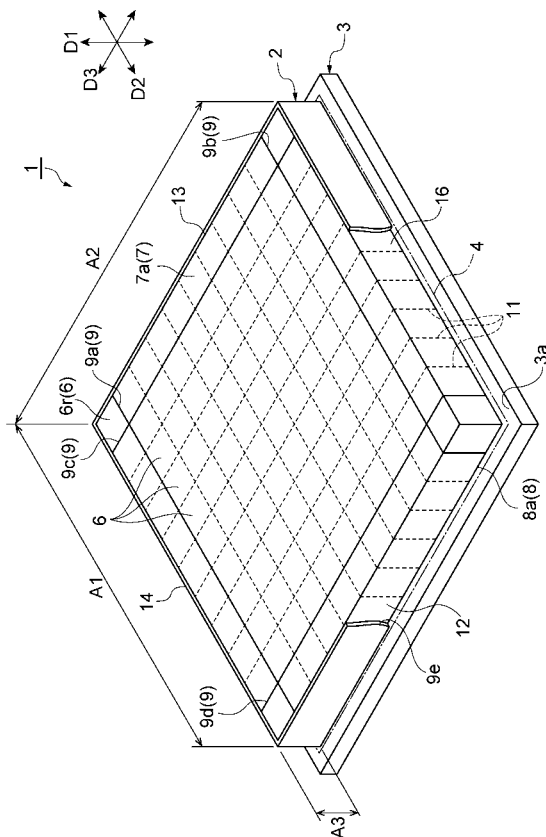
【 符号の説明 】

【 0 0 6 0 】

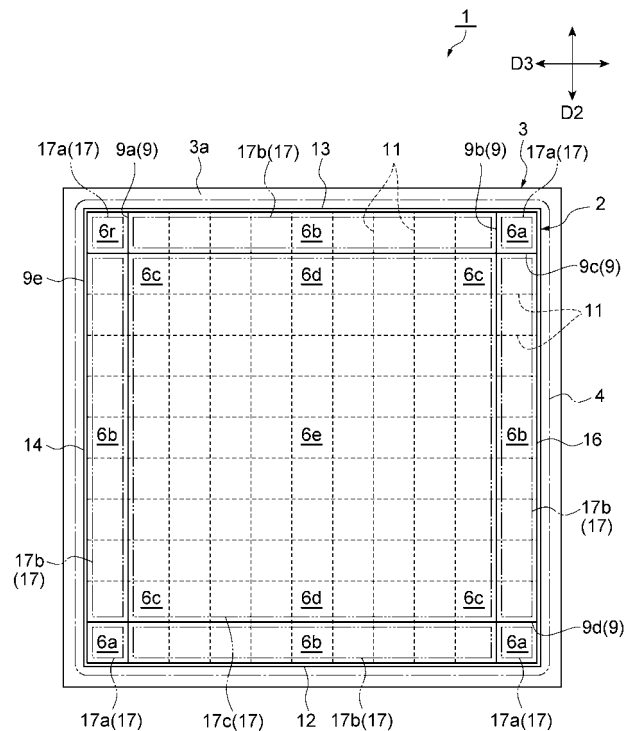
1, 1 A, 1 B, 1 0 0, 2 0 0 ... 放射線検出器、2, 2 A, 1 0 2, 2 0 2 ... シンチレータアレイ、3, 3 A, 2 0 3 ... 光検出器、4, 5, 5 a, 5 b ... 受光部、6, 1 0 6, 2 0 6 ... シンチレータセル、7 ... ブロック入射面、7 a ... セル入射面、8 ... ブロック結合面、8 a ... セル結合面、9 ... 光反射面、1 1, 1 0 1, 2 1 1 ... 光散乱面、1 7, 1 8 ... 光拡散制限部、1 9 ... 光反射面交差部、P 1, P 2, P 3, P 4, P 5 ... 検出点。

10

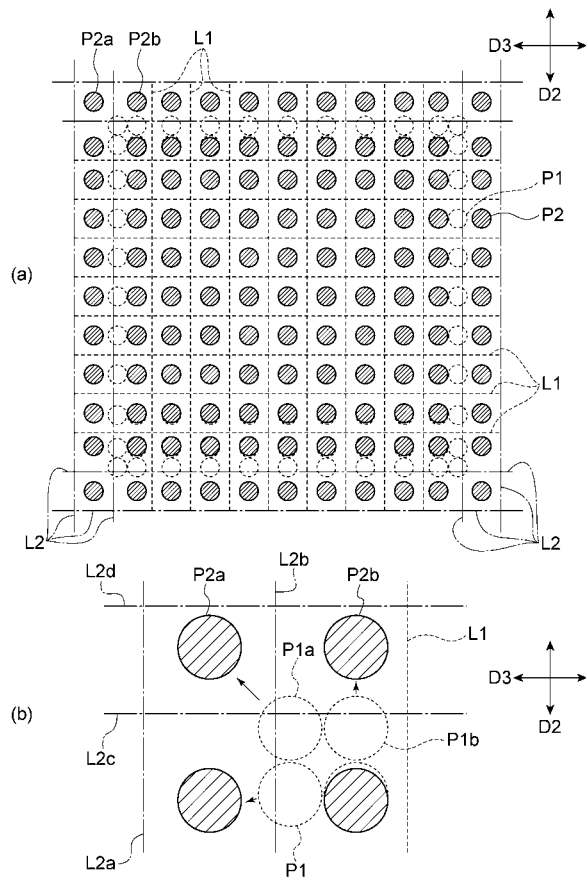
【 図 1 】



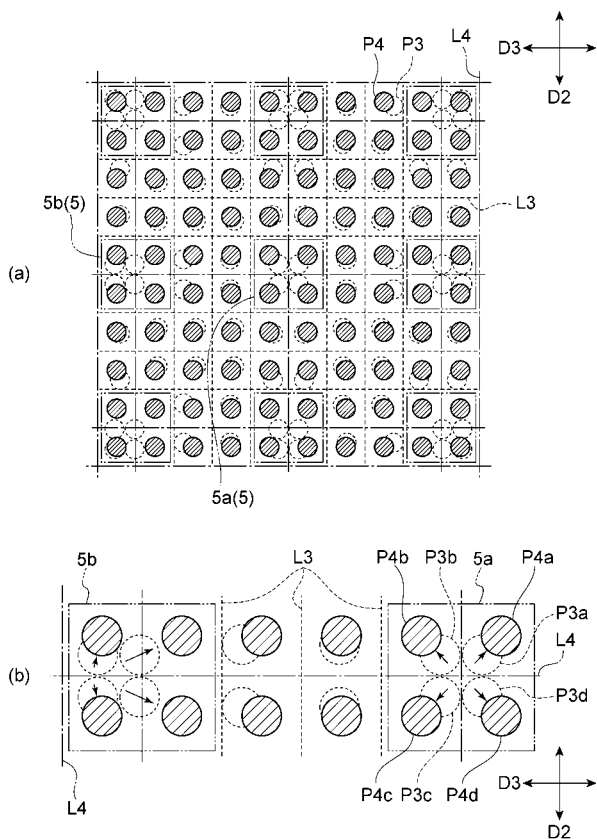
【 図 2 】



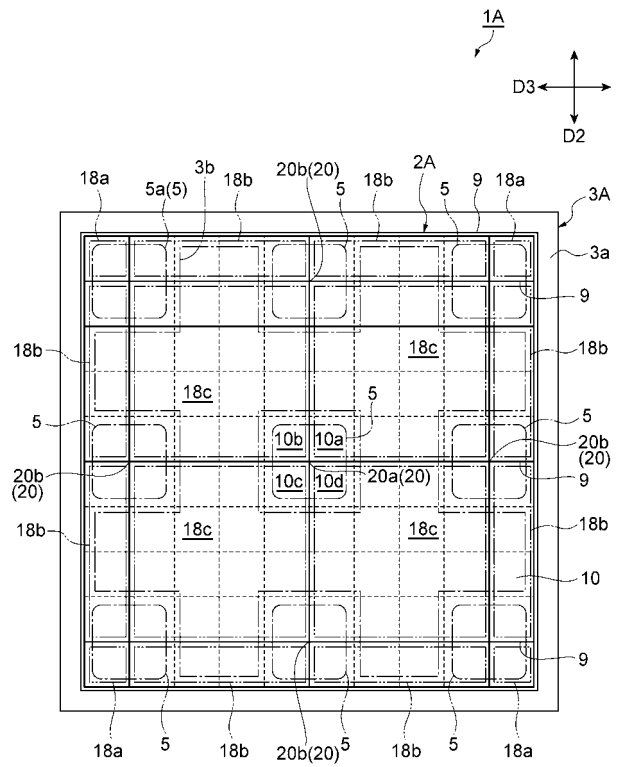
【図 4】



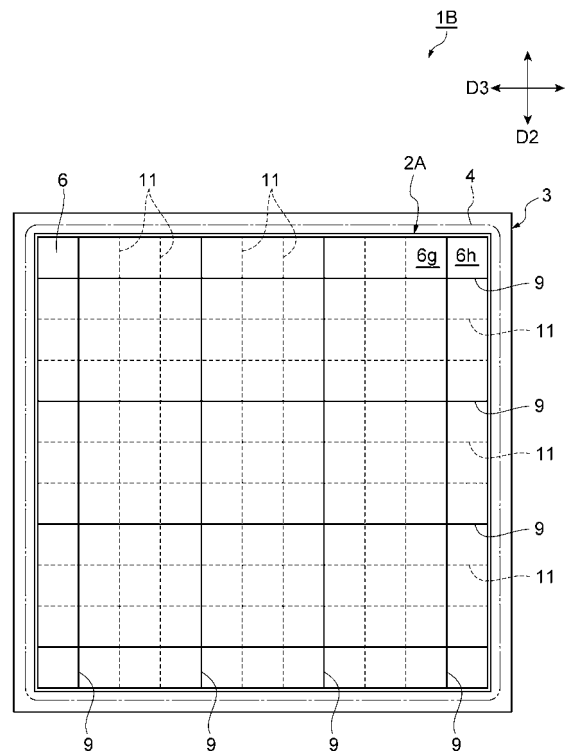
【図 6】



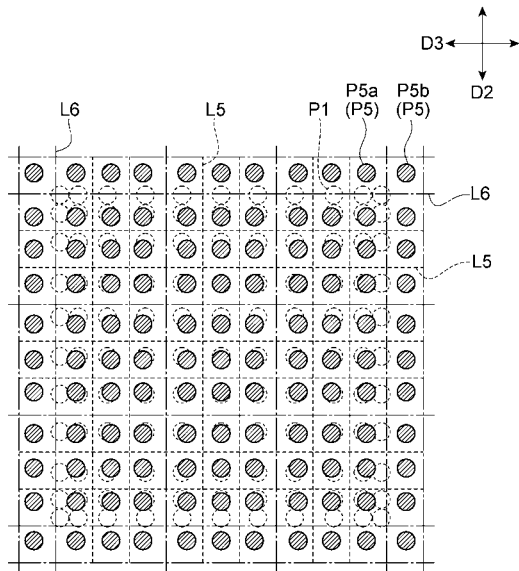
【図 5】



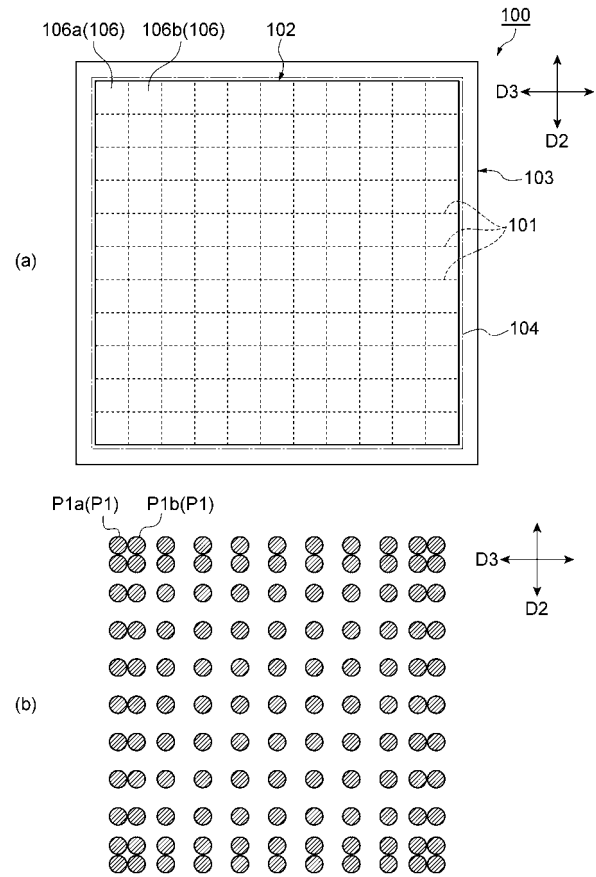
【図 7】



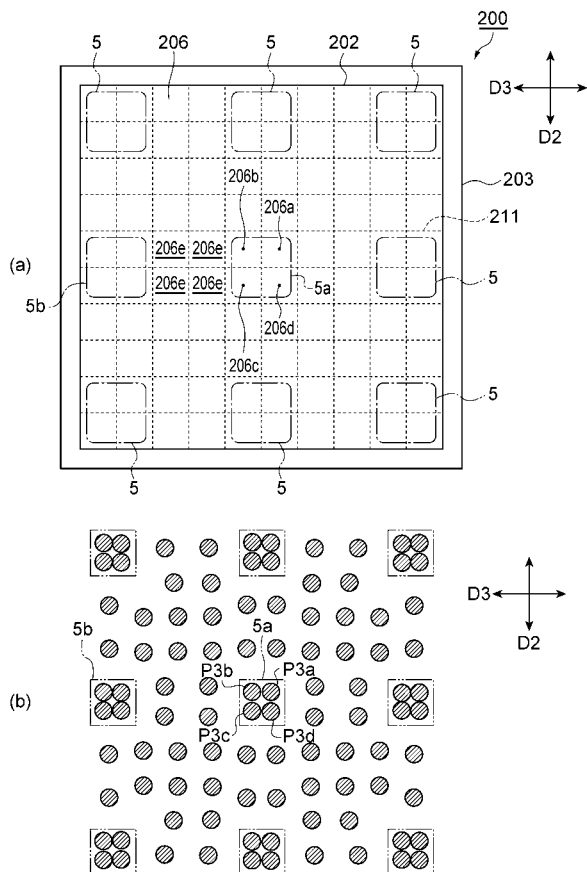
【 図 8 】



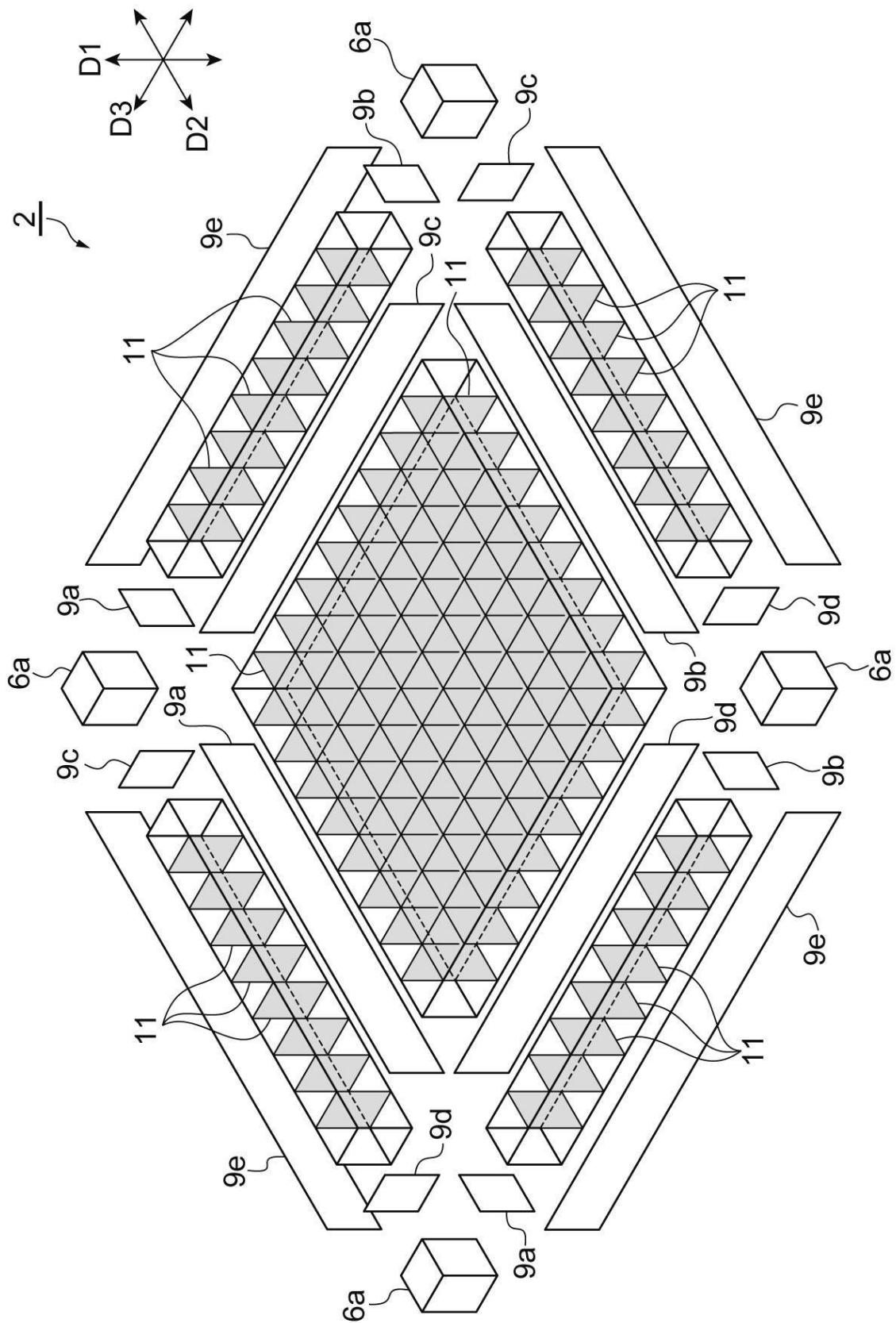
【 図 9 】



【 図 10 】



【図 3】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 山谷 泰賀  
千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内
- (72)発明者 稲玉 直子  
千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内
- (72)発明者 酒井 利明  
静岡県浜松市東区市野町1 1 2 6 番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 清水 啓司  
静岡県浜松市東区市野町1 1 2 6 番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 山下 貴司  
静岡県浜松市東区市野町1 1 2 6 番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 内田 博  
静岡県浜松市東区市野町1 1 2 6 番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
- Fターム(参考) 2G188 CC12 CC15 CC16 CC21 CC22 CC23 CC26 DD43